

การศึกษาผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงที่มีต่อเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม PSpice

A Study on the Effect of Stray Capacitance in Different Positions of an Impulse Voltage Generator by Using PSpice Program

ชัยพร อัดโดดดร

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีเอเชีย อุบลราชธานี 34000

Chaiporn addoddorn

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering
The Asian University of Management and Technology, Ubonratchathani 34000
Tel: 0-4528-3770-2, E-mail: chaiporn_addoddorn@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงที่มีต่อเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยใช้โปรแกรม PSpice มาเป็นเครื่องมือที่สำคัญหลักในการวิเคราะห์ในสภาวะปกติและสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในวงจรที่ตำแหน่งต่างกัน อันได้แก่ คาปาซิแตนซ์แฝงในสแตจที่ 1 คาปาซิแตนซ์แฝงในสแตจที่ 1 และ 2 และคาปาซิแตนซ์แฝงในสแตจที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งจากการทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ออกแบบไว้ในสภาวะดังกล่าว ปรากฏว่า ในสภาวะปกติแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.36 \mu s$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.40 \mu s$ ในขณะที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 60.37 kV และในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.40 \mu s$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.68 \mu s$ ในขณะที่มีสูงสุดเท่ากับ 60.06 kV และในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 และ 2 จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.37 \mu s$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.86 \mu s$ ในขณะที่มีสูงสุดเท่ากับ 59.98 kV ส่วนในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3 จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.41 \mu s$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.84 \mu s$ ในขณะที่มีสูงสุดเท่ากับ 59.87 kV
คำหลัก คาปาซิแตนซ์แฝง เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โปรแกรม PSpice แรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน

Abstract

This paper presents a study on the effect of stray capacitance in different positions of an impulse voltage generator by using PSpice program. This program is an important tool for analysis in the usual condition and the stray capacitance condition in the various positions that including to stage 1, stage 1 and 2 and stage 1, 2 and 3. From the simulations, it confirms that the usual condition, the output impulse voltage has T_1 , T_2 and $V_{o\max}$ equal to $0.36 \mu s$, $41.40 \mu s$ and 60.37 kV respectively. The stray capacitance condition was added in stage 1, the output impulse voltage has T_1 , T_2 and $V_{o\max}$ equal to $0.40 \mu s$, $41.68 \mu s$ and 60.06 kV respectively and the stray capacitances were added in stage 1 and 2, the output impulse voltage has T_1 , T_2 and $V_{o\max}$ equal to $0.37 \mu s$, $41.86 \mu s$ and 59.98 kV respectively and the stray capacitances were added in stage 1, 2 and 3, the output impulse voltage has T_1 , T_2 and $V_{o\max}$ equal to $0.41 \mu s$, $41.84 \mu s$ and 59.87 kV respectively.

Keywords: Stray capacitance, impulse voltage generator, PSpice programming, standard impulse wave shape.

1. บทนำ

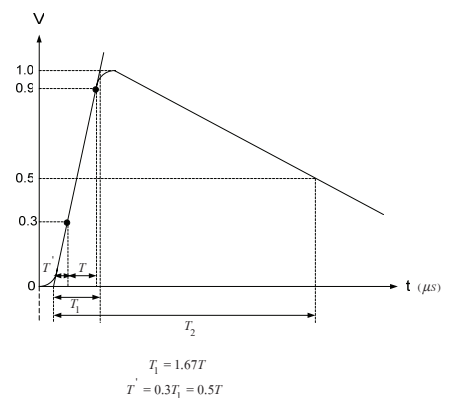
ปัจจุบันได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ ออกแบบ จำลองการทำงานในทุกสาขาโดยเฉพาะงานทางด้านไฟฟ้าได้มีการนำเอาซอฟต์แวร์มาใช้ในการออกแบบและจำลองการทำงานกันอย่างกว้างขวางซึ่งจะมีประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานทางด้านไฟฟ้าอย่างมาก เพราะจะช่วยประหยัดเวลาในการออกแบบ หรือทดสอบวงจรภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งค่าที่ได้จะมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง หรือเป็นตัวอ้างอิงกับผลการทดลองในกรณีที่การทดลองจริงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์แก้ไข หาความคลาดเคลื่อนได้ง่ายขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่าง การจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าแรงสูง มาเป็นกรณีศึกษา เพื่อศึกษาหาผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงที่มีต่อการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งในการสร้างวงจรจริงจะต้องใช้เวลาอย่างมาก ไม่ประหยัด และการคำนวณมือที่ย่งยากจะทำให้ยุ่งยากขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้ในที่นี้ คือ โปรแกรม PSpice [1] ซึ่ง PSpice เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการช่วยวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยที่โปรแกรม PSpice นี้ไม่สามารถออกแบบวงจรให้เราได้เอง แต่เราจะใช้ในการตรวจสอบการออกแบบวงจรที่เราได้ออกแบบไว้ โดยที่เราสามารถใช้โปรแกรม PSpice เพื่อทำการจำลองการทำงานของวงจร เพื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ โดยค่าที่ได้จะมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันเพื่อยืนยันถึงความถูกต้อง แต่ถ้าผลลัพธ์ที่คำนวณไม่ตรงหรือเกิดความผิดพลาดในการจำลองการทำงาน แสดงว่าวงจรของเราไม่สามารถทำงานได้จริงในห้องปฏิบัติการหรือแสดงว่าจะต้องมีการแก้ไขในวงจรที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะให้ผลคล้ายกันกับการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง อุปกรณ์จริงอันจะทำให้เราใช้เวลาในการทดลองน้อยลงและเกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย และจะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนารูปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไปได้ โดยเฉพาะทางด้าน

ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายกว่างานทางด้านอื่นๆ อีกด้วย

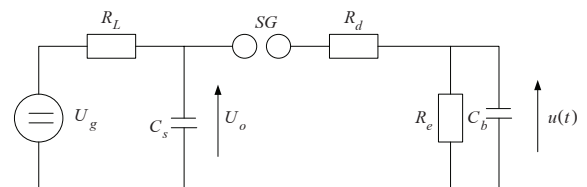
2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

รูปที่ 1 แสดงรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐานที่มีช่วงเวลา $1.2 \times 50 \mu s$ โดยที่มีช่วงแรงดันสูงสุดอยู่ที่ $1.2 \mu s$ (T_1) และช่วงเวลาทางคลื่นที่ลดลงมาที่ระดับ 50% ของค่าสูงสุด $50 \mu s$ (T_2)



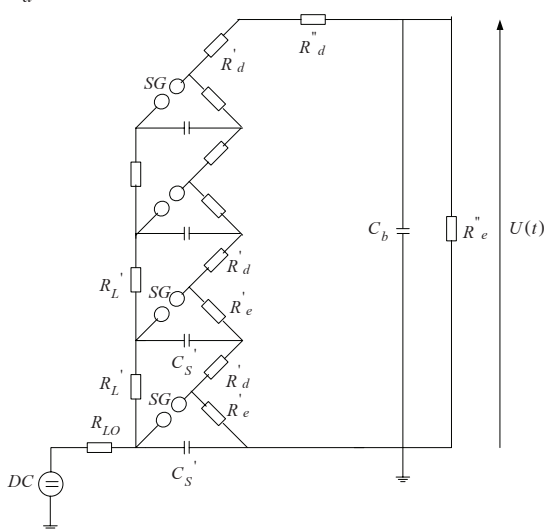
รูปที่ 1 แสดงรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน [2]



รูปที่ 2 วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ [2]

รูปที่ 2 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน [2] ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ แรงดันกระแสตรง U_g เป็นตัวป้อนแรงดันอัดประจุให้กับตัวอัดประจุอิมพัลส์ C_s จนกระทั่งได้แรงดันที่ต้องการ U_o การอัดประจุนี้จะผ่านความต้านทาน R_L ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุเร็วหรือช้า ขนาดแรงดันอัดประจุ U_o จำกัดด้วยระยะห่างของสปาร์กแกป SG ที่ปรับได้ ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันอัดประจุให้สามารถสร้างแรงดันอิมพัลส์ได้มากน้อยตามต้องการ สปาร์กแกปนอกจากจะเป็น

ตัวกำหนดค่าแรงดันอัดประจุแล้ว ยังทำหน้าที่เหมือนสวิตช์หรือไก เพื่อให้ตัวเก็บประจุ C_s ปลอยประจุให้กับโหลด เมื่อเกิดสปาร์กแก๊ปที่ SG แรงดันอัดประจุ U_o จะคร่อม R_d และ C_b ประจุจะถ่ายทอดไปยังวัสดุทดสอบซึ่งแทนด้วย C_b การถ่ายทอดหรือปลอยประจุนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับ R_d และ C_b นับเป็นเวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 เมื่อถ่ายประจุให้ C_b จนเต็มแล้ว ประจุก็จะดีสชาร์จหรือปลอยประจุออกไปสู่ R_e จึงกล่าวได้ว่า R_e ทำหน้าที่ควบคุมเวลาช่วงหางคลื่น T_2 ส่วนค่าแรงดันอิมพัลส์สูงๆ อาจสร้างได้ด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายขั้น โดยใช้วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์ตามหลักการของมาร์ก (Marx's circuit) ดังรูปที่ 3 ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ ดังนี้ ตัวเก็บประจุ C_s' ทุกตัวจะได้รับการอัดประจุในลักษณะที่ต่อกันแบบขนานด้วยแรงดัน U_o' เมื่อส่งสัญญาณพัลส์ผ่านไกสวิตช์ ทำให้สปาร์กแก๊ปขั้นแรกทำงานก่อน สปาร์กแก๊ปขั้นต่อไปก็จะเกิดสปาร์กตามลำดับ เป็นผลให้ตัวเก็บประจุ C_s' ทั้งหมดต่อกันแบบอนุกรมและได้แรงดันสูงเป็นทวีคูณของจำนวนขั้น เมื่อสปาร์กแก๊ปเกิดสปาร์กหมดทุกคู่ C_s' จะต่อกันเป็นอนุกรม ฉะนั้น C_b จะได้รับประจุผ่านความต้านทานหน่วง R_d' ต่อกันแบบอนุกรม และในที่สุดทั้ง C_s' และ C_b ต่างก็จะดีสชาร์จปลอยประจุผ่าน R_e' และ R_d' ต่อไป



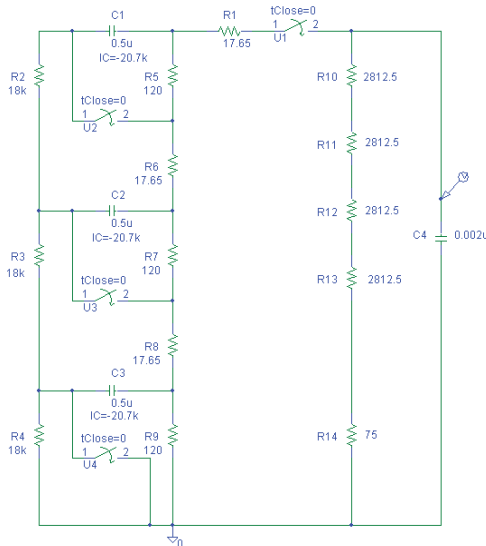
รูปที่ 3 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบ Marx [2]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการสร้างไฟล์อินพุตของวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบ Marx ในสภาวะปกติและสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในตำแหน่งต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Schematics ใน PSpice ซึ่งในที่นี้จะใช้ PSpice Version 8.0 สร้างวงจรขึ้นมา โดยการดึงอุปกรณ์มาจาก Library [3] แล้วใส่ค่าพารามิเตอร์ให้แก่อุปกรณ์ ต่อสายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสร้างเป็นวงจรตามที่ต้องการ แล้วทำการกำหนดค่าต่างๆ ของการวิเคราะห์ โดยเลือกจะใช้การวิเคราะห์แบบใด ซึ่งในที่นี้จะใช้การวิเคราะห์แบบ Transient แล้วทำการทดสอบวงจรด้วย PSpice โปรแกรมจะสร้างไฟล์เอาต์พุตขึ้นมา เพื่อแสดงผลพริททางไฟฟ้าของวงจร ถ้าต้องการดูผลลัพธ์จากการพล็อตกราฟ ให้รัน Probe ก็จะได้ผลลัพธ์ตามต้องการ ซึ่งมี 4 ขั้นตอนดังนี้

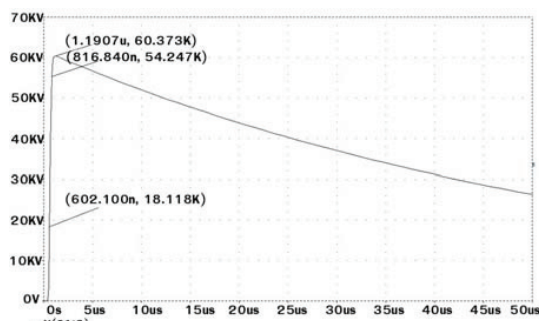
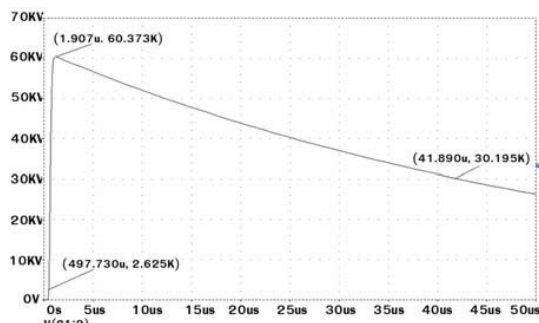
3.1 รูปแบบจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะปกติ

สำหรับแบบจำลองข้างต้นได้กำหนดให้มีเงื่อนไข ดังนี้ เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบในที่นี้มีอยู่ 3 สเตจ ซึ่งเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์จะมีความต้านทานสองตัวต่อสเตจ ได้แก่ ความต้านทานหน้าคลื่นซึ่งยอมให้เกิดรูปคลื่นข้างหน้าสูงสุดในเวลาที่ต้องการ ส่วนความต้านทานตัวที่สอง หมายถึง ความต้านทานหางคลื่นสำหรับปรับระดับแรงดันให้ได้ครึ่งหนึ่งของแรงดันสูงสุดที่ตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการหรือหางของรูปคลื่น โดยกำหนดให้ความต้านทานหน้าคลื่นแต่ละสเตจมีค่าเท่ากับ 17.65Ω และความต้านทานหางคลื่นมีค่าเท่ากับ 120Ω และโวลเตจดีไวเดอร์ที่ใช้จะลดระดับแรงดันที่ต้องการวัดซึ่งจะประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน ซึ่งในที่นี้จะใช้โวลเตจดีไวเดอร์เป็นแบบความต้านทาน โดยกำหนดให้มีค่าความต้านทานแรงดันสูง 11250Ω ต่ออนุกรมกันจำนวน 4 ตัว และความต้านทานแรงดันต่ำ 75Ω ส่วนตัวเก็บประจุโหลดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $0.002 \mu F$ หรือ $2000 pF$ และกำหนดให้ตัวเก็บประจุอิมพัลส์มีค่ามากกว่าตัวเก็บประจุโหลดมากๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพของวงจรมีค่าสูงๆ ซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $0.5 \mu F$ โดยอ้างอิงมาจากเอกสารอ้างอิง [4] ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของวงจร Schematics ดังนี้



รูปที่ 4 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะปกติ

ผลการจำลองการทำงานของวงจร

รูปที่ 5 แสดงคาบเวลา T_1 ที่ได้ของวงจรในสภาวะปกติรูปที่ 6 แสดงคาบเวลา T_2 ที่ได้ของวงจรในสภาวะปกติ

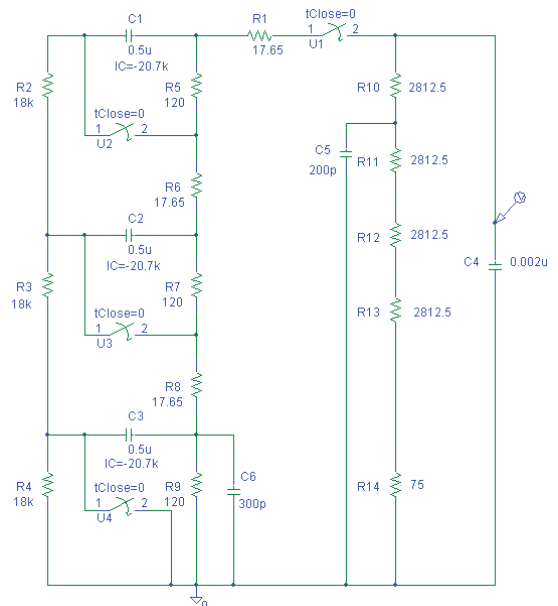
จากการจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะปกติ จะพบว่า แรงดันเอาท์พุทที่ได้จะมีค่า T เท่ากับ $816.84 - 602.10 = 214.74 \mu s$

ทำให้ได้ T_1 เท่ากับ $1.67 \times 214.74 = 358.62 \mu s$

และ $T' = 0.5 \times 214.74 = 107.37 \mu s$ ทำให้ได้เวลาเริ่มต้นของ T_2 เท่ากับ $602.10 - 107.37 = 494.73 \mu s$ ดังนั้น T_2 จึงเท่ากับ $41.89 \mu s - 494.73 \mu s = 41.40 \mu s$ ในขณะที่มีค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 60.37 kV

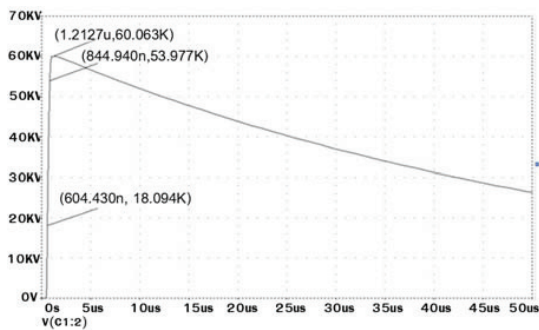
3.2 รูปแบบจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1

สำหรับแบบจำลองข้างต้นได้กำหนดให้มีเงื่อนไข ดังนี้ เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบในที่นี้จะมียูนิท 3 สแตจ เหมือนรูปแบบแรก แต่จะมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 300 pF และมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในโวลเตจดีไวเดอร์ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 200 pF โดยอ้างอิงมาจากเอกสารอ้างอิง [4] ซึ่งได้มาจากการลองถูกลองผิด (trial and error) โดยกำหนดให้มีค่าน้อยกว่าตัวเก็บประจุโหลด $0.002 \mu F$ หรือ 2000 pF ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของวงจร Schematics ดังนี้

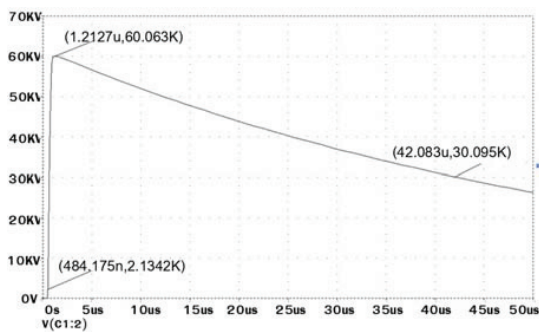


รูปที่ 7 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1

ผลการจำลองการทำงานของวงจร



รูปที่ 8 แสดงคาบเวลา T_1 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสเตจที่ 1



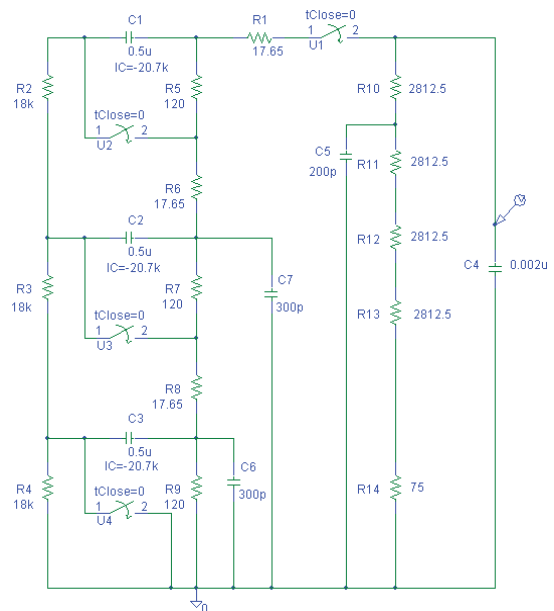
รูปที่ 9 แสดงคาบเวลา T_2 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสเตจที่ 1

จากการจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสเตจที่ 1 จะพบว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T เท่ากับ $844.94 - 604.43 = 240.51\text{ns}$ ทำให้ได้ T_1 เท่ากับ $1.67 \times 240.51 = 401.65\text{ns}$ และ T' เท่ากับ $0.5 \times 240.51 = 120.26\text{ns}$ ทำให้ได้เวลาเริ่มต้นของ T_2 เท่ากับ $604.43 - 120.26 = 484.17\text{ns}$ ดังนั้น T_2 จึงเท่ากับ $42.16\mu\text{s} - 484.17\text{ns} = 41.68\mu\text{s}$ ในขณะที่มีค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 60.06 kV

3.3 รูปแบบจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสเตจที่ 1 และ 2

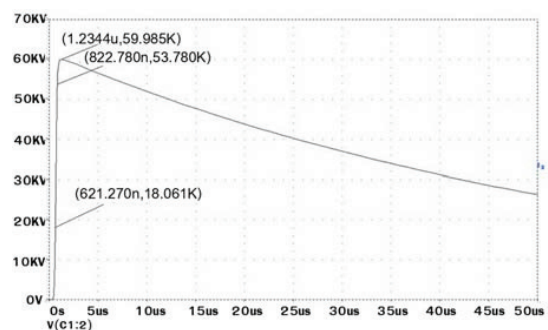
สำหรับแบบจำลองข้างต้นได้กำหนดให้มีเงื่อนไข ดังนี้ เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบในที่นี้จะมียู 3 สเตจ เหมือนรูปแบบแรก แต่จะมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่

ในสเตจที่ 1 และสเตจที่ 2 ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 300 pF และมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในโวลเตจดีไวเดอร์ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 200 pF โดยอ้างอิงมาจากเอกสารอ้างอิง [4] ซึ่งได้มาจากการลองถูกลองผิด (trial and error) โดยกำหนดให้มีค่าน้อยกว่าตัวเก็บประจุโหลด $0.002\mu\text{F}$ หรือ 2000 pF ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของวงจร Schematics ดังนี้

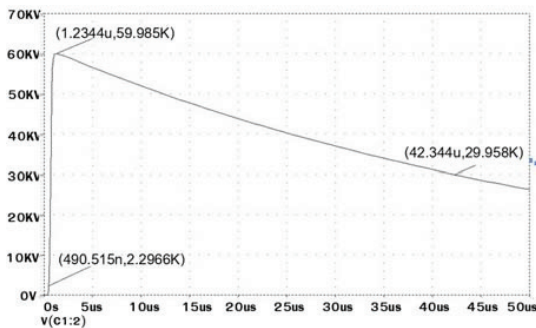


รูปที่ 10 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสเตจที่ 1 และ 2

ผลการจำลองการทำงานของวงจร



รูปที่ 11 แสดงคาบเวลา T_1 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสเตจที่ 1 และ 2



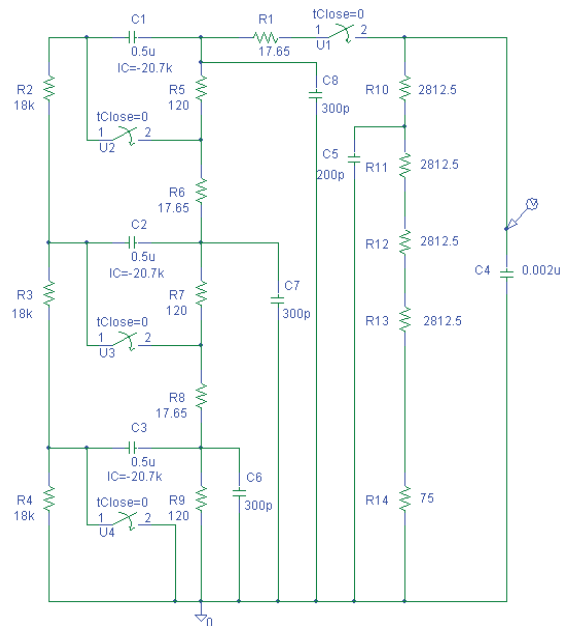
รูปที่ 12 แสดงคาบเวลา T_2 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 และ 2

จากการจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 และ 2 จะพบว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T เท่ากับ $822.78 - 601.27 = 221.51\text{ns}$ ทำให้ได้ T_1 เท่ากับ $1.67 \times 221.51 = 369.92\text{ns}$ และ T' เท่ากับ $0.5 \times 221.51 = 110.76\text{ns}$ ทำให้ได้เวลาเริ่มต้นของ T_2 เท่ากับ $601.27 - 110.76 = 490.51\text{ns}$ ดังนั้น T_2 จึงเท่ากับ $42.37\mu\text{s} - 490.51\text{ns} = 41.86\mu\text{s}$ ในขณะที่มีค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 59.98 kV

3.4 รูปแบบจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3

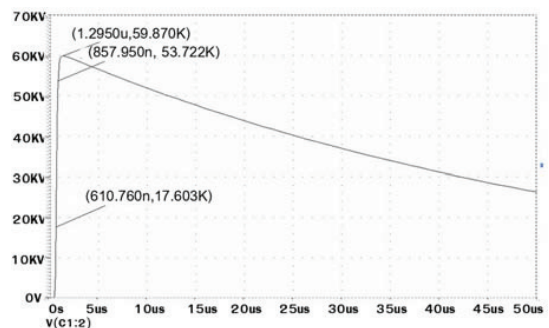
ซึ่งกำหนดให้มีเงื่อนไข ดังนี้

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบในที่นี้จะมียู 3 สเตจ เหมือนรูปแบบแรก แต่จะมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 สเตจที่ 2 และสเตจที่ 3 ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 300 pF และมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในโวลเตจดีไวเดอร์ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 200 pF โดยอ้างอิงมาจากเอกสารอ้างอิง [4] ซึ่งได้มาจากการลองถูกลองผิด (trial and error) โดยกำหนดให้มีค่าน้อยกว่าตัวเก็บประจุโหลด 0.002 μF หรือ 2000 pF ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของวงจร Schematic ดังนี้

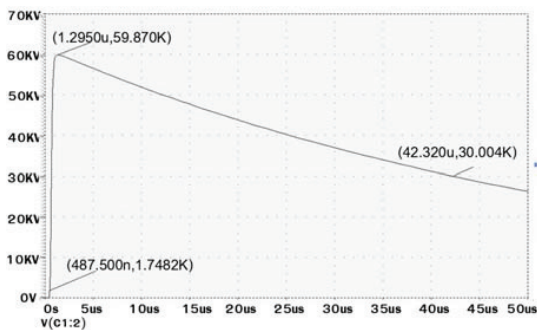


รูปที่ 13 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3

ผลการจำลองการทำงานของวงจร



รูปที่ 14 แสดงคาบเวลา T_1 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 15 แสดงคาบเวลา T_2 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3

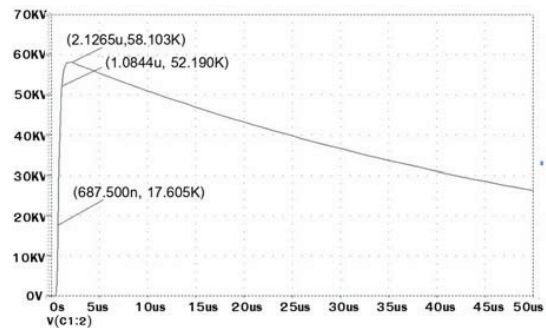
จากการจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3 จะพบว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T เท่ากับ $857.59 - 610.76 = 246.83 \text{ ns}$ ทำให้ได้ T_1 เท่ากับ $1.67 \times 246.83 = 412.21 \text{ ns}$ และ T' เท่ากับ $0.5 \times 246.83 = 123.42 \text{ ns}$ ทำให้ได้เวลาเริ่มต้นของ T_2 เท่ากับ $610.76 - 123.42 = 487.34 \text{ ns}$ ดังนั้น T_2 จึงเท่ากับ $42.32 \mu\text{s} - 487.34 \text{ ns} = 41.84 \mu\text{s}$ ในขณะที่มีค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 59.87 kV

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ของวงจรกับสภาวะปกติโดยโปรแกรม PSpice

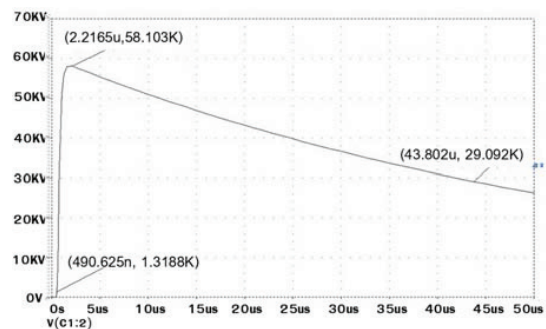
เวลา	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะปกติและในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ของวงจร			
	สภาวะปกติ	สแตจที่ 1	สแตจที่ 1 และ 2	สแตจที่ 1, 2 และ 3
T_1	$0.36 \mu\text{s}$	$0.40 \mu\text{s}$	$0.37 \mu\text{s}$	$0.41 \mu\text{s}$
T_2	$41.40 \mu\text{s}$	$41.68 \mu\text{s}$	$41.86 \mu\text{s}$	$41.84 \mu\text{s}$
$V_{o\text{max}}$	60.37 kV	60.06 kV	59.98 kV	59.87 kV

เมื่อทำการทดลองหาค่าคาปาซิแตนซ์แฝงที่ทำให้ค่าแรงดันสูงสุดผิดพลาดเกิน $\pm 3\%$ โดยวิธีการลองถูกลองผิด (trial and error) จะพบว่า ที่ค่าคาปาซิแตนซ์แฝง

เท่ากับ 3000 pF ซึ่งมีค่ามากกว่าตัวเก็บประจุโหลด 2000 pF จะทำให้แรงดันสูงสุดเท่ากับ 58.10 kV ดังนี้



รูปที่ 16 แสดงคาบเวลา T_1 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3 ที่ค่าคาปาซิแตนซ์แฝงเท่ากับ 3000 pF



รูปที่ 17 แสดงคาบเวลา T_2 ที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3 ที่ค่าคาปาซิแตนซ์แฝงเท่ากับ 3000 pF

4. สรุป

จากการออกแบบและจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะปกติ จะพบว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.36 \mu\text{s}$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.40 \mu\text{s}$ ในขณะที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 60.37 kV ส่วนการออกแบบและจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีค่าคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 และมีขนาด 200 pF แฝงอยู่ในโวลเตจดีไวเดอร์นั้น จะพบว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.40 \mu\text{s}$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.68 \mu\text{s}$ ในขณะที่มีสูงสุดเท่ากับ 60.06 kV และเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ใน

สภาวะที่มีค่าคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1 และ 2 และมีขนาด 200 pF แฝงอยู่ในโวลเตจดีไวเดอร์นั้น จะพบว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.37 \mu s$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.86 \mu s$ ในขณะที่มีสูงสุดเท่ากับ 59.98 kV และเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีค่าคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในสแตจที่ 1, 2 และ 3 และมีขนาด 200 pF แฝงอยู่ในโวลเตจดีไวเดอร์นั้น จะพบว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ $0.41 \mu s$ และค่า T_2 เท่ากับ $41.84 \mu s$ ในขณะที่มีสูงสุดเท่ากับ 59.87 kV ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า เมื่อค่าคาปาซิแตนซ์แฝงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างกันจะทำให้ค่า T_1, T_2 และค่าแรงดันสูงสุดเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติกล่าวคือ เมื่อค่าคาปาซิแตนซ์แฝงเกิดขึ้นที่สแตจที่ 1 ค่า T_1 และ T_2 จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าแรงดันสูงสุดจะลดลง และเมื่อค่าคาปาซิแตนซ์แฝงเกิดขึ้นที่สแตจที่ 1 และ 2 ค่า T_1 และ T_2 จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าแรงดันสูงสุดจะลดลง และเมื่อค่าคาปาซิแตนซ์แฝงเกิดขึ้นที่สแตจที่ 1, 2 และ 3 ค่า T_1 และ T_2 จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าแรงดันสูงสุดจะลดลง เช่นเดียวกัน ซึ่งค่า T_1 ที่ได้เหล่านี้จะมีค่าต่ำกว่าแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานซึ่งอยู่ในช่วง $0.84 - 1.56 \mu s$ แต่ค่า T_2 ที่ได้เหล่านี้จะอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดซึ่งอยู่ในช่วง $40 - 60 \mu s$ ส่วนค่าแรงดันสูงสุดที่ได้เหล่านี้จะอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดด้วยซึ่งยอมให้ผิดพลาดได้ $\pm 3\%$ ซึ่งในที่นี้จะอยู่ในช่วง $58.20 - 61.80 kV$ โดยค่า T_1 ที่ได้เหล่านี้ต่ำกว่ามาตรฐานก็เนื่องมาจากการกำหนดความต้านทานหน้าคลื่นและคาปาซิเตอร์โหลดน้อยเกินไปนั่นเอง และเมื่อทำการทดลองหาค่าคาปาซิแตนซ์แฝงที่ทำให้ค่าแรงดันสูงสุดผิดพลาดเกิน $\pm 3\%$ จะพบว่า ที่ค่าคาปาซิแตนซ์แฝงเท่ากับ 3000 pF ซึ่งมีค่ามากกว่าคาปาซิเตอร์โหลด จะทำให้แรงดันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 58.10 kV ในขณะที่สภาวะปกติแรงดันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 60.37 kV ดังนั้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงที่เกิดขึ้นในวงจรที่มีผลต่อค่า T_1, T_2 และค่าแรงดันสูงสุด ควรทำการเพิ่มคาปาซิเตอร์โหลดให้มีความมากขึ้นด้วย ซึ่งค่าที่ได้เหล่านี้สามารถนำไปเป็นตัวอ้างอิงกับผลการทดลองในกรณีที่มีการทดลองจริงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์และแก้ไขหาความคลาดเคลื่อนได้ง่ายขึ้น และจะเป็นแนวทางในการนำไปวิเคราะห์และแก้ไขรูปร่างของแรงดันอิมพัลส์

ให้เข้ากับแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานในทางปฏิบัติต่อไปได้ ซึ่งจะให้ผลคล้ายกันกับการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง อุปกรณ์จริงอันจะทำให้เราใช้เวลาในการทดลองน้อยลง และเกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย และจะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนารูปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไปได้ โดยเฉพาะทางด้านไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายกว่างานทางด้านอื่นๆ อีกด้วย

5. ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงในตำแหน่งอื่นๆ อีก อาทิเช่น คาปาซิแตนซ์แฝงที่ตกคร่อมบนสปรັกแกป และสร้างรูปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ อีก โดยเฉพาะทางด้านไฟฟ้าแรงสูง [5] อาทิเช่น หม้อแปลงเตสลา ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงจากหลายร้อยกิโลโวลต์ไปจนถึงหลายเมกะโวลต์ ที่ความถี่ตั้งแต่ $50 - 400 kHz$ เพื่อใช้เป็นรูปแบบจำลองการทำงานมาตรฐานในคอมพิวเตอร์ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อำนวย สกฤษโส. 2542. โปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ .
- [2] สรรวย สังข์สะอาด. 2547. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- [3] MicroSim corporation. Copyright 1997. User Guide version 8 . MicroSim schematics/schematic capture software.
- [4] Steven E Meiners. 2002. AN IMPULSE GENERATOR SIMULATION CIRCUIT. Thesis of University of Pittsburgh.
- [5] Suthar , J.L. , Laghari , J.R. , Saluzzo , T.J. 1991. Usefulness of SPICE in High Voltage Engineering Education. IEEE Transaction on Volume 6 , page:1272 – 1278.